

Die Vereisung der Tragflächenoberseite und -unterseite des Vereisungsforschungsflugzeugs der DLR

Hans-Eberhard Hoffmann und Johann Demmel
DLR, Institut für Physik der Atmosphäre

Abstract

Since winter 1988/89, on icing flights the icing of the wing upper side could be photographed, too. Always when the bottom side was strongly iced, also the upper side icing attained large values: extension 40 cm, roughness 6 mm. This occurred when the total water content was between 0.05 and 0.13 g m⁻³, the temperature between -2.1 and -3.4° C and the median volume diameter between 115 and 236 µm.

1. Einleitung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens des Instituts für Physik der Atmosphäre "Vereisung von Luftfahrzeugen" sind, neben einer Reihe rein technischer Fragestellungen, u.a. folgende Teilaspekte dieses Vorhabens bearbeitet worden:

- Erstellung von Grundlagen für eine erweiterte Klimatologie vereisungsrelevanter wolkenphysikalischer Parameter (Air Weather Service, 1980; Roach et al., 1984; Hoffmann et al., 1990; Hoffmann und Roth, 1989; Hoffmann, 1990b).
- Bestimmung vereisender Wolken mittels Satellitenbildern (Schickel, 1986, 1988).
- Abhängigkeit des normierten Vereisungsgrades von wolkenphysikalischen Parametern (Hoffmann et al., 1986, 1988).
- Flugzeugbezogener Vereisungsgrad moderate bis severe (Hoffmann, 1988, 1990a; Hoffmann und Demmel, 1990).

Als Kriterium für den Eisansatz an der Tragfläche des Vereisungsforschungsflugzeugs wurde bis zu den Vereisungsflügen im Winter 1987/88 der Eisansatz an der Tragflächenunterseite des Vereisungsforschungsflugzeugs der DLR herangezogen. Erst ab dem Winter 1988/89 war die Möglichkeit geschaffen worden, während der Vereisungsflüge auch die Vereisung der Tragflächenoberseite photographisch festzuhalten. Hier werden die Ergebnisse von vier Vereisungsflügen des Winters 1989/90 behandelt, bei denen die Vereisung der Tragflächenoberseite besonders markante Formen aufwies. Während in dieser Arbeit von jedem der vier Vereisungsflüge jeweils nur ein Bild der Tragflächenoberseite und -unterseite im Moment ihrer maximalen Vereisung gezeigt wird, enthält Hoffmann und Demmel (1991) als Ergänzung hierzu eine vollständige Dokumentation des Ablaufs der Vereisung der Tragfläche bei diesen Flügen.

2. Durchführung der Untersuchungen

Grundlage der Untersuchungen zur "Vereisung von Luftfahrzeugen" sind Flüge in vereisenden Wolken mit dem Vereisungsforschungsflugzeug vom Typ Do 28. Es ist mit einer Vielzahl von Geräten zur Messung atmosphärischer speziell wolkenphysikalischer Parameter und zur Bestimmung des Eisansatzes am Flugzeug und an Normzylindern ausgerüstet (Hoffmann und Demmel, 1986; Hoffmann, 1986). Das

Flugzeug mit dem Gehäuse einer Kleinbildkamera, die während der Vereisungsflüge von einem der Flugingenieure zum Photographieren eines Ausschnitts der Tragflächenoberseite ausgelöst werden kann, zeigt Bild 1. Die Messung der wolkenphysikalischen Parameter von Abschnitt 3 wurde mit folgenden Geräten durchgeführt:

Gesamtwassergehalt TWC: Hitzdrahtinstrument Johnson-Williams
Statische Temperatur T: Platin-Widerstandsthermometer (Rosemount)
Median-Volumendurchmesser MVD: FSSP- und OAP-Geräte (PMS)
Partikelphase Ph: Qualitativ (Visuelle Beobachtung, Hitzdrahtinstrument CSIRO-King, Rückstreusonde DLR)

Unter Gesamtwassergehalt ist hier der Wassergehalt flüssiger und fester Wolkenpartikel zu verstehen.

Bild 1: Das Forschungsflugzeug der DLR vom Typ Do 28 mit Gehäuse einer Kleinbildkamera zum Photographieren der Tragflächenoberseite (a).



3. Ergebnisse von vier Vereisungsflügen

Dieser Abschnitt enthält die Ergebnisse von vier Vereisungsflügen mit besonders markanter Vereisung der Tragflächenoberseite und -unterseite. Unter

- (a) werden die maximalen Eisansatzwerte auf der Tragflächenoberseite und -unterseite angegeben,
- (b) enthält die mittleren wolkenphysikalischen Werte, die zu diesen maximalen Eisansätzen führten,
- (c) zeigt mittels photographischer Aufnahmen die maximalen Eisansätze und
- (d) enthält Diagramme mit den Eisansatzwerten Dicke, Erstreckung und Rauigkeit in Abhängigkeit von der Wolkenflugzeit.

Bei der Erstreckung des Eisansatzes ist zu bedenken, daß auf der Oberseite der Tragfläche ein $\approx 13\text{cm}$ breiter Streifen und auf der Unterseite ein $\approx 36\text{cm}$ breiter Streifen pneumatisch enteist werden kann, - in den Bildern der schwarze Bereich an der Tragflächenvorderkante. Das angegebene Datum und die Flugnummer sollen die Möglichkeit schaffen, den Ergebnissen der vier Vereisungsflüge die meteorologischen und flugtechnischen Bedingungen zuzuordnen.

3.1 Vereisungsflug vom 23.3.1990

(a) Maximale Eisansatzwerte

Auf der Tragflächenoberseite: Dicke ? mm, Erstreckung: 5cm, Rauigkeit: 3mm

Auf der Tragflächenunterseite: Dicke 9mm, Erstreckung: 15cm, Rauigkeit: 6mm

(b) Mittlere wolkenphysikalische Werte

\overline{TWC} (g/m³): 0,07 \overline{T} (°C): -3,4 \overline{MVD} (μm): 115 Ph: flüssig

(c) Photographische Bilder beim maximalen Eisansatz

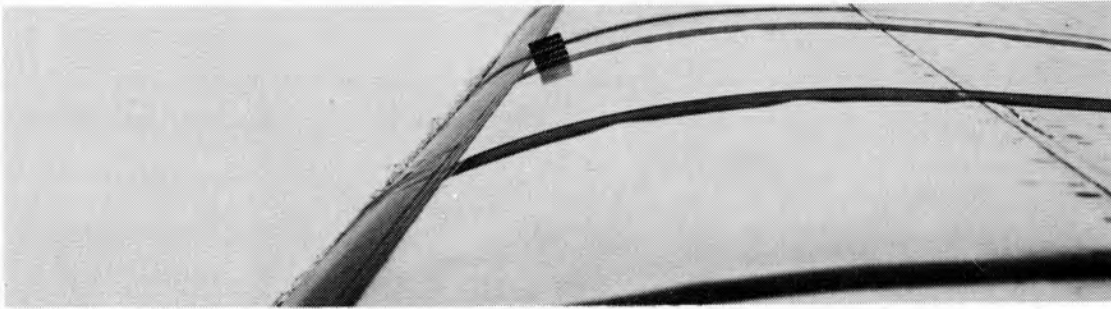


Bild 2: Maximaler Eisansatz auf der Tragflächenoberseite



Bild 3: Maximaler Eisansatz an der Tragflächenunterseite

(d) Dicke, Erstreckung und Rauigkeit des Eisansatzes in Abhängigkeit von der Wolkenflugzeit

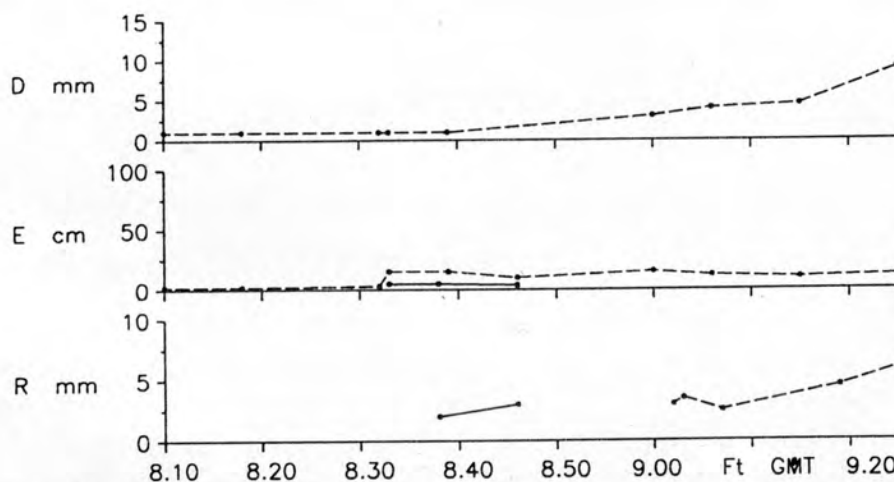


Bild 4: Dicke D, Erstreckung E und Rauigkeit R in Abhängigkeit von der Wolkenflugzeit Ft. Die ausgezogene (gestrichelte) Linie gilt für die Oberseite (Unterseite) der Tragfläche.

3.2 Vereisungsflug vom 20.11.1990 (Nr. 3143)

(a) Maximale Eisansatzwerte

Auf der Tragflächenoberseite: Dicke ? mm, Erstreckung: 40cm, Rauigkeit: 7mm

Auf der Tragflächenunterseite: Dicke 11mm, Erstreckung: 60cm, Rauigkeit: 6mm

(b) Mittlere wolkenphysikalische Werte

\overline{WVC} (g/m³): 0,05 \overline{T} (°C): -2,1 \overline{MVD} (μm): 236 Ph: flüssig / fest

(c) Photographische Bilder beim maximalen Eisansatz

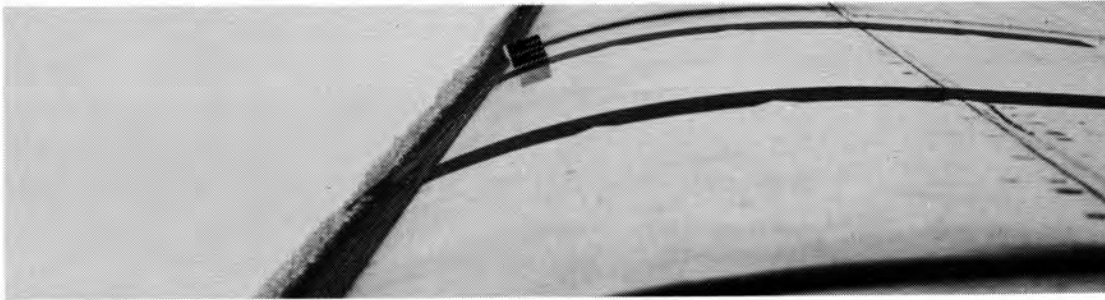


Bild 5: Maximaler Eisansatz auf der Tragflächenoberseite



Bild 6: Maximaler Eisansatz an der Tragflächenunterseite

(d) Dicke, Erstreckung und Rauigkeit des Eisansatzes in Abhängigkeit von der Wolkenflugzeit

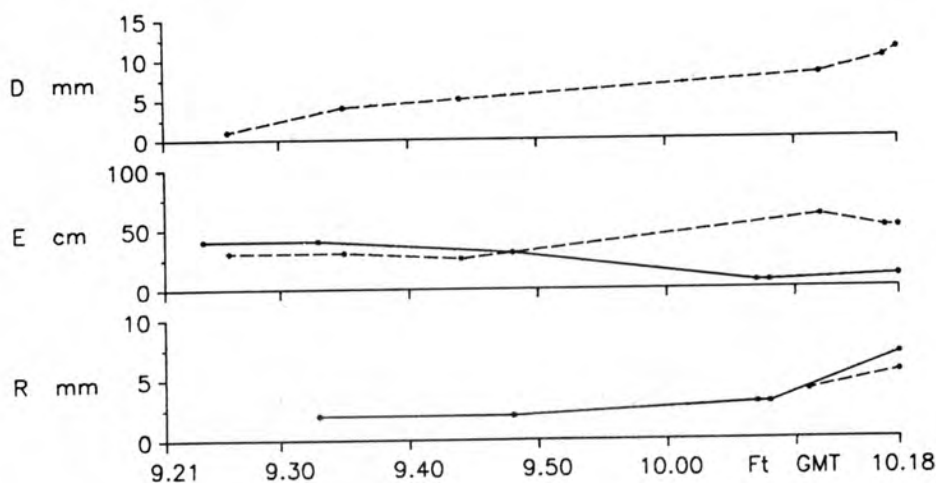


Bild 7: Legende wie Bild 4.

3.3 Vereisungsflug vom 22.11.1990

(a) Maximale Eisansatzwerte

Auf der Tragflächenoberseite: Dicke ? mm, Erstreckung: 30cm, Rauhigkeit: 7mm
Auf der Tragflächenunterseite: Dicke 5mm, Erstreckung: 80cm, Rauhigkeit: 5mm

(b) Mittlere wolkenphysikalische Werte

\overline{TWC} (g/m³): 0,10 \overline{T} (°C): -3,4 \overline{MVD} (μm): 208 Ph: flüssig / fest

(c) Photographische Bilder beim maximalen Eisansatz



Bild 8 Maximaler Eisansatz auf der Tragflächenoberseite

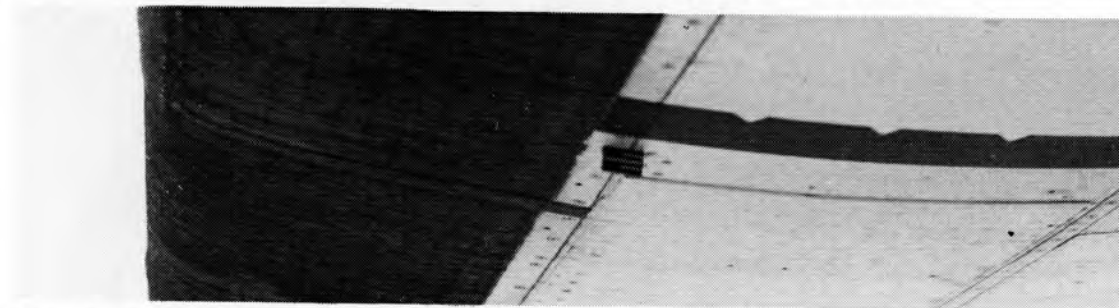


Bild 9 Maximaler Eisansatz an der Tragflächenunterseite

(d) Dicke, Erstreckung und Rauhigkeit des Eisansatzes in Abhängigkeit von der Wolkenflugzeit

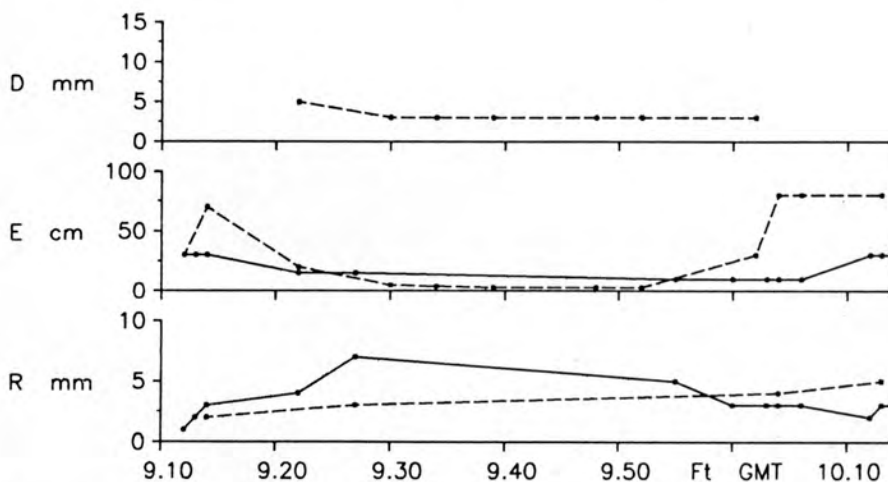


Bild 10: Legende wie Bild 4.

3.4 Vereisungsflug vom 11.01.1991

(a) Maximale Eisansatzwerte

Auf der Tragflächenoberseite: Dicke ? mm, Erstreckung: 40cm, Rauigkeit: 7mm
Auf der Tragflächenunterseite: Dicke 3mm, Erstreckung: 80cm, Rauigkeit: 6mm

(b) Mittlere wolkenphysikalische Werte

\overline{TWC} (g/m³): 0,13 \overline{T} (°C): -2,1 \overline{MVD} (μm): 224 Ph: flüssig

(c) Photographische Bilder beim maximalen Eisansatz



Bild 11: Maximaler Eisansatz auf der Tragflächenoberseite

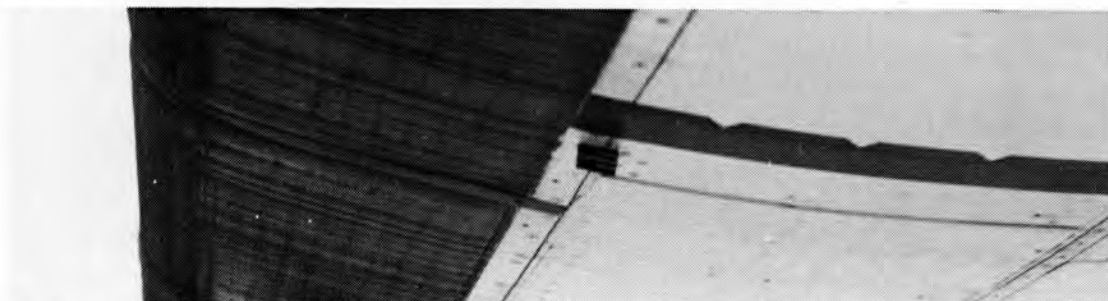


Bild 12: Maximaler Eisansatz an der Tragflächenunterseite

(d) Dicke, Erstreckung und Rauigkeit des Eisansatzes in Abhängigkeit von der Wolkenflugzeit

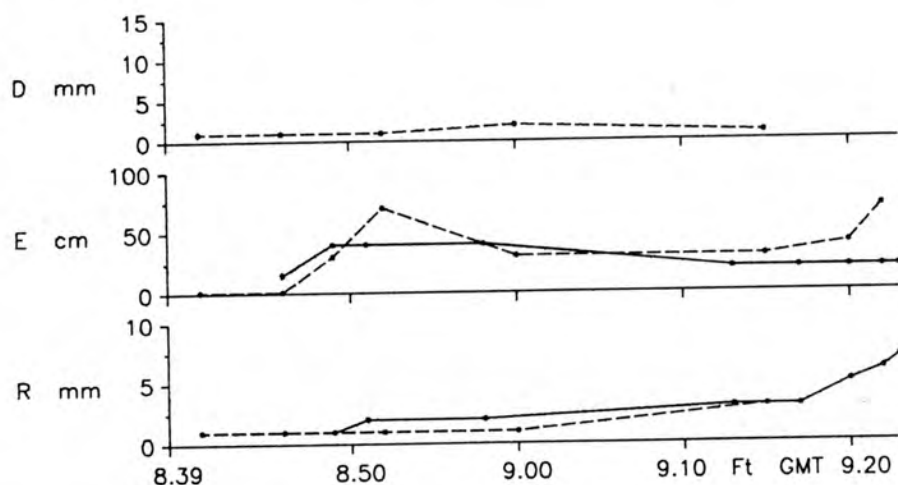


Bild 13: Legende wie Bild 4.

4. Zusammenfassung

- Die hier diskutierten starken Vereisungen der Tragflächenoberseite und -unterseite fanden bei kleinen bis mittleren Werten für den Gesamtwassergehalt
0.07 0.05 0.10 0.13 g/m³,
bei relativ hohen Temperaturen
-3.4 -2.1 -3.4 -2.1 °C und
bei hohen Werten für den Median-Volumendurchmesser
115 236 208 224 µm
statt. Die Partikelphase war flüssig oder flüssig / fest.
- Der Eisansatz erreichte folgende Werte auf der Tragflächenoberseite: maximale Erstreckung 5, 40, 30, 40cm; maximale Rauigkeit 3, 7, 7, 7mm. Auf der Tragflächenunterseite: maximale Erstreckung 15, 60, 80, 80cm; maximale Rauigkeit 6, 6, 5, 6mm.
- Die Vereisungsflüge wurden im Bereich von Kaltfronten (3 Flüge) bzw. im Bereich einer Warmfront (1 Flug) durchgeführt.
- Bei zwei früheren Vereisungsflügen, bei denen der luftfahrzeugbezogene Vereisungsgrad "severe" erreicht wurde (Hoffmann, 1990a; Hoffmann und Demmel, 1990), hatten die Werte für den Eisansatz auf der Tragflächenunterseite - nur die Tragflächenunterseite konnte damals beobachtet werden - eine ähnliche Größenordnung. Auch die Werte für die wolkenphysikalischen Parameter Temperatur und Median-Volumendurchmesser lagen dabei in ähnlichen Bereichen, während die Werte für den Gesamtwassergehalt etwas größer waren. Die Durchführung dieser zwei früheren Vereisungsflüge erfolgte im Bereich von Warmfronten.

Literatur:

- Air Weather Service (MAC), 1980: Forecasters' Guide on Aircraft Icing. AWS/TR-80/001, p 60.
- Hoffmann H.-E., 1986: Determination of atmospheric parameters by airborne backscatter probe. ESA-TT-982, p 67.
- Hoffmann H.-E., 1988: Icing degree moderate to severe: If and where in clouds. Proceedings, 16th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS), Jerusalem 28.8.-2.9., 1802 - 1812.
- Hoffmann H.-E., 1990a: The analysis of three icing flights with various ice accretion structures when reaching icing degree severe. Proceedings, 17th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS), Stockholm 9.-14.9., 2203 - 2210.
- Hoffmann H.-E., 1990b: A documentation of vertical and horizontal aircraft soundings of icing relevant cloud physical parameters. AGARD Conference Proceedings, 76th Symposium of the Propulsion and Energetics Panel, Brüssel, 8.-12.10., 33/1 - 33/14.
- Hoffmann H.-E. und J. Demmel, 1986: DFVLR's icing research aircraft Do 28, and its measuring equipment. ESA-TT-982, p 68.
- Hoffmann H.-E. und J. Demmel, 1990: Eine Analyse von drei Vereisungsflügen mit Erreichen des luftfahrzeugbezogenen Vereisungsgrades severe. DLR-FB 90-34, 114 pp.

- Hoffmann H.-E. und J. Demmel, 1991: Eine Dokumentation des Verlaufs der Vereisung der Tragflächenoberseite und -unterseite bei vier Vereisungsflügen. IB 553 7/91, 35 pp.
- Hoffmann H.-E. und R. Roth, 1989: Cloudphysical parameters in dependence on height above cloud base in different clouds. Meteorol. Atmos. Phys. 41, 247 - 251.
- Hoffmann H.-E., Roth R. und J. Demmel, 1986: Results of icing flights in winter 1983/84: Dependence of ice accretion thickness on cloud physics parameters as well as object and cloud parameters. ESA-TT-969, p 40.
- Hoffmann H.-E., Roth R. und J. Demmel, 1988: Standardized ice accretion thickness as a function of cloud physics parameters. ESA-TT-1080, p 58.
- Hoffmann H.-E., Demmel J., Horst H. und H. Löbel, 1990: Eine Dokumentation vereisungsrelevanter wolkenphysikalischer Parameter bei Vertikalsondierungen stratiformer Wolken. DLR-Mitt. 90-07, 145 pp.
- Roach W. T., Forrester D. A., Crewe M. E. and K. F. Watt, 1984: An icing climatology for helicopters. Meteorological Office, Bracknell, Special Investigations Memorandum 112, p 41.
- Schickel K.-P., 1986: Bestimmung von "Vereisenden Wolken" durch Satellitenbilder und Flugzeugmessungen. Analen der Meteorologie Nr. 23, 208-209.
- Schickel K.-P., 1988: Satellite images of icing clouds. Technical Document, 4th International Workshop on Atmospheric Icing on Structures, Paris, 5.-7.9., 49 - 51.